This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

RY

MÉMOIRE

SUR LE RABOTAGE DES MÉTAUX

PAR

J. THIME,

Ivan Time

PROFESSEUR A L'INSTITUT DES MINES

A ST.-PÉTERSBOURG.

ST.-PÉTERSBOURG.

EXPÉDITION POUR LA CONFECTION DES PAPIERS DE L'ÉTAT.

1877.

Eng 12-78.77

Denny fund 127.3

Печатано по распоряженію Горнаго Департамента.

MÉMOIRE

PAR

LE RABOTAGE DES MÉTAUX.

Mémoire sur le rabotage des métaux.

L'action de couper les métaux et le bois est d'une grande importance dans l'industrie. Toutes les constructions, machines et batisses en bois ou en métaux, sont basées sur la communication à ces matériaux, à l'aide de *l'action de couper,* de certaines figures géométriques bien régulières. Conséquemment, la section de la Technologie mécanique, qui traite du travail des métaux et du bois, ne pourra être élevé au rang des sciences précises, avant que l'action de couper, par voie de théorie et de pratique, ne soit complètement approfondie. Ses différentes phases portent les noms suivants: rabotage, dans toute l'acception du mot, forage, poinçonnage et proprement dit action de couper.

Jusqu'à présent l'action de couper n'a pas été approfondie par voie scientifique. Toutes les expé-

riences sur le rabotage et le forage des métaux, faites à différentes époques, par M^eurs^ *Cocquilhat, Clarinval, Joëssel, Hartig* et autres, se sont bornées, rien qu'à la définition de la force et du travail de l'outil. Aucune de ces autorités ne s'est sérieusement occupée de la formation et de la structure des copeaux.

De prime abord, chacun peut trouver étrange, incompréhensible, et se demander avec surprise ce que peuvent présenter d'intéressant et de nouveau, ces masses de copeaux et de limailles, si uniformes au premier coup d'oeil, qui forment dans les fabriques de machines, ces tas de gravois, sans aucun prix! Cependant, un examen munitieux nous fait remarquer que ces tas de gravois consistent en copeaux qui varient à l'infini, par leur forme, leur grandeur, leur aspect et leur structure; mais qui sont tous soumis aux mêmes lois phisiques, et qui présentent à la science un vaste champ pour de nouvelles recherches très intéressantes. Dans notre intérieur, à l'aide d'un simple

canif, nous produisons une action toute pareille à celle de l'outil dans les ateliers de construction de machines.

Cela posé, on comprendra facilement l'intérêt produit par l'ouvrage de M^eur *H. Tresca „Mémoire sur le rabotage des métaux"* dans la litterature étrangère. Il parut pour la première fois dans le: *„Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie Nationale"* de l'année 1873. Il parait, que M^eur Tresca a touché le premier, le côté théorétique, scientifique du rabotage; du moins c'est dans ce sens qu'il s'explique lui même. Mais nous protestons. En 1870, nous avons publié à S^t. Pétersbourg un ouvrage, il est vrai qu'il était en langue russe, intitulé: *„La résistance des métaux et du bois à l'action de couper,* in 8°, suivi de 9 planches de dessins.

Dans cet ouvrage, sans nous contenter de décrire les résultats de nombreuses expériences sur le rabotage: de l'acier, du fer, de la fonte, du bronze, du plomb, du zinc et du bois; nous

avons émis, la théorie élémentaire du rabotage, solidement basée non sur des hypothèses, mais sur nos observations directs.

Nous n'avons nullement l'intention de repéter ici ce que nous avons écrit il y a quelques années. Non, l'unique but du présent mémoire consiste à mettre en parallèle les expériences de M^eur^ *Tresca* et les nôtres, parce que, traitant le même sujet, il se trouve, que nous partons dans plusieurs points capitaux d'un point de vue complètement différent. Dans l'intérêt de la science, et du succés des nouvelles expériences, nous supposons de grande importance la résolution de la question, d'où provient cette différence dans notre manière de voir? Après avoir jugé la chose avec toute l'impartialité possible, nous pouvons dire, que nos expériences sur le rabotage, sont fondées sur une base plus solide que ceux de M^eur^ *Tresca,* telles qu'elles sont publiées aujourd'hui, ce qui fait, que nous nous en rapportons sans crainte aux jugements de personnes compétentes.

Essais sur le rabotage H. Tresca.

Nous ne ferons mention de ces essais, que dans leur trois points capitaux.

1) Les premières observations de M^eur^ *Tresca* sur le rabotage l'ont amené à conclure: *que la longueur du copeau est de beaucoup moindre, que le chemin parcourue par l'outil.* Il arrive souvent, que la longueur du copeau n'atteint que $^1/_3$ — $^1/_2$ de la longueur de la surface rabotée.

M^eur^ *Tresca* attribue ce phénomène, à la comprimation du métal sous la pression de l'outil. Les résultats numériques de ces expériences sont en tout semblables à ceux que nous avons publiés en 1870; ce n'est, que dans l'explication de la réduction des copeaux, qu'ils différent entièrement des nôtres.

Selon nos observations, la reduction de la longueur des copeaux ne dépend que faiblement de la comprimation du métal dans la direction parcourue par l'outil, mais la cause principale se

trouve *dans le déplacement des parties, lors de l'enlèvement des copeaux.*

En outre la réduction de la longueur n'est point un phénomène infaillible, dans tous les cas du rabotage. Il se trouve parfois, bien que ces cas soient relativement rares, que la longueur du copeau équivaut à la longueur de la face parcourue par l'outil. Le caractère de ces copeaux diffère essentiellement de ceux que donne la réduction de la longueur.

L'explication de ce que nous avançons ci-dessus, sera donnée plus loin.

2) Le défaut essentiel des expériments de M^eur^ Tresca consiste selon nous dans ce que, jusqu'à présent il n'a pu parvenir à observer la structure des copeaux.

Il s'est borné à faire ses expériences presque exclusivement sur le plomb, métal qui donne des copeaux compactes. Sur le fer il n'a fait que peu d'essais et encore l'épaisseur des copeaux n'était elle que de $1\,{}^{1}/_{2}$ m. m. au plus, tandisque

selon nos observations, pour avoir des copeaux d'une structure bien distincte, il faut suivre une toute autre méthode, employer un métal plus ou moins dur, tacher d'obtenir des copeaux d'une plus grande épaisseur, en donnant à l'outil un angle coupant de 55°, 65° et même plus.

Il est vrai que M^eur^ *Tresca* s'est procuré de grands copeaux de fer, tous prêts dans différentes fabriques de machines, mais malheureusement ses échantillons avaient été obtenus sous des conditions favorables à la formation des copeaux compactes. Effectivement de tous ses dessins (plan. 17.), il n'y a que le copeau de la figure 14, qui représente une structure distinctement *articulée,* mais qui est resté sans fixer particulièrement l'attention. Soit à cause de l'inexactitude de la copie, soit à cause des conditions toutes exeptionnelles pendant la formation de ce copeau, mais les parties intégrantes de ces éléments n'ont point cette régularité géométrique de contours que nous avons continuellement pu observer dans nos expériments.

On peut dire de la collection de M^eur^ Tresca: *qu'elle est très variée mais pas assez instructive,* comme ne contenant point de copeaux ayant une structure élémentaire clairement démontrée.

3) *La théorie de rabotage.* N'ayant point assez de faits à sa disposition M^eur^ Tresca essaie de baser sa théorie de rabotage sur des hypothèses.

Se fondant sur ses belles expériences sur la pression des métaux M^eur^ Tresca tire la très importante conclusion: que la compression de la masse ne s'étend qu'à une certaine distance, à partir du point de l'application de la force. Il appelle cette distance *zone d'activité,* ce que nous appellerons *(x),* par *b* et *e* nous désignerons la largeur et l'épaisseur de la couche métallique enlevée (fig 1). Dans l'action de l'outil il admet trois périodes 1) *la déformation du métal,* 2) *la formation du copeau* et 3) *le cisaillement.*

1^e^ période. M^eur^ *Tresca* suppose que pendant l'activité de l'outil, la comprimation s'étend également dans toute l'épaisseur de la couche *(e),* sans dé-

passer les limites du *zone d'activité (x)*. Cette supposition serait juste si avant le commencement de l'épreuve on avait fait une *incision* sous la couche en question, comme nous montre la fig. 2. Ce qui prouve que sa formule: $2\ k\ log. : {}^{1}/_{R}$ ne saurait être reconnue absoluement incontestable.

2e période. La comparaison de la formation du copeau avec l'écoulement de quelque corps solide d'un vase, nous semble peu naturelle et assez incompréhensible.

3e période. M^eur *Tresca* définit le travail de cisaillement, de la manière suivante: il suppose que le cisaillement se fait chaque fois dans les limites du *zone d'activité,* de sorte, que la surface cisaillée $= bx$ et l'effort employé pour le cisaillement $bx\ R_o$, ou R_o, se trouve être le coefficient du cisaillement, défini lors des expériences sur le poinçonnage des trous. Le travail du cisaillement pour une longueur rabotée L sera: $bx\ R_o\ L$.

Il est incontestable que pendant le rabotage se produit ordinairement le cisaillement des éléments,

mais selon nos observations, c'est dans de toutes autres surfaces que *bx,* qu'il se passe. D'ailleurs la surface *bx* ou *mn,* ne présente jamais l'aspect qu'ont généralement les surfaces de cisaillement. Tout cela prouve que la formule $bx\ R_o\ L$, ne peut non plus être reconnue comme exacte.

En commençant l'exposition des principaux résultats de nos expériences, nous ne prétendons pas épuiser la question, et considérer notre ouvrage comme tout-à-fait achevé, mais nous sommes convaincus que la voie, que nous avons choisie, servira de base aux expériences et aux observations ultérieurs, sur le rabotage des métaux en général.

Expériences sur le rabotage des métaux faites par l'auteur.

Introduction.

En soumettant une prisme métallique, ayant le volume *ble,* à la pression de l'outil fig. 2, selon l'opinion émise si-dessus, la comprimation de la

masse s'étend également dans toute l'épaisseur *(e)* dans les limites du *zone d'activité (x)*. Prenons maintenant par exemple un cas, ou l'incision n'est point faite dans le plan *mn* (fig. 1 et 3). Les parties de la couche de la superficie se trouveront alors presque dans les mêmes conditions que ceux de la fig. 2; conséquemment l'action de la comprimation s'étendra à une distance plus ou moins égale *(x)* de l'outil; supposons jusqu'à *z*. Tout au contraire, la comprimation de la masse dans la surface *mn* n'est point possible sans faire d'incision au métal dans la même surface, ce qui nous démontre clairement, que pour cette couche nous avons $x - o$. Les couches intermédiaires se trouvent dans les conditions moyennes.

De cette simple réflection nous pouvons tirer ce fait important: *que la comprimation de la masse des corps donnés, sous l'influence de l'action de l'outil ne peut s'étendre que dans les limites d'un certain angle (β)*. Hors de cet angle, l'état primitif des corps ne change point.

Il est facile de voir que l'angle β n'est point une grandeur constante. En diminuant l'angle (α), évidemment *(x)* et par conséquent β devront changer, parceque dans ce cas l'outil fonctionnera autant par la pression, que par l'élèvement des parties. Si l'épaisseur du copeau est plus considérable, l'angle β sera moindre, que celui des copeaux plus fins, parceque x restera plus ou moins invariable. Nous avons nommé dans notre ouvrage de l'année 1870, l'angle β, *angle de cisaillement,* par suite de ce que le cisaillement des éléments de copeaux se produit dans la direction des faces *zu.* On pourrait donner à l'angle β un nom plus commun *d'angle d'activité,* comme remplaçant celui de *zone d'activite* supposé par M^eur^ *Tresca.* La justesse des conclusions que nous venons d'émettre, est constatée par tous nos expériments, mais néanmoins, pour mieux éclairer les faits nous avons produit sur du plomb l'expériment tout spéciale que voici.

Expériment spécial sur le plomb (fig. 4 et 5).

Sur la face polie et argentée de la couche que nous voulions enlever nous avons tracé au milieu de sa grosseur une ligne droite que nous avons divisé en parties égales 1 — 2, 2 — 3, 3 — 4, et ainsi de suite, chacune de $^1/_4$ '' (6,25^{mm}). Après quoi, nous avons placé les outils, d'abord à $\alpha = 45^0$ et ensuite à $\alpha = 90^0$. L'enlèvement du copeau a été produit sur une grande machine à raboter à l'aide d'un fort levier, monté dans l'axe des poulis. L'outil a été mis fort lentement en mouvement. Sous l'influence de la pression de l'outil, toute la surface latérale du plomb dans les limites de l'angle β a présenté un aspect ridé et terne par suite de la comprimation des parties, tandis-que au delà des limites de l'angle β, elle conserva son aspect primitif semblable à une glace bien polie. La ligne $z\ u$ bornant l'angle β était nettement marquée. En avançant l'outil jusqu'à ce que la ligne $z\ u$, eut depassé le point (2) fig. 5,

nous avons mesuré la distance 2 — 3, et nous avons trouvé qu'elle *n'avait pas changée,* c'est-à-dire — $^1/_4$ ″. Les figures 4 et 5 sont représentées de grandeur naturelle. Nous avons répété des expériences semblable sur d'autres métaux et toutes ont donné le même résultat. Pour pouvoir faire des observations plus munitieuses nous avons autant que possible augmenté l'épaisseur des copeaux. L'action de *l'angle d'activité* β est si caractéristique que chacun, sans quitter son cabinet de travail, peut se convaincre facilement de la justesse de ce phénomène, en coupant avec un simple couteau de la stéarine, de la cire, du savon, ou même du pain [1]), en donnant au couteau une direction plus ou moins droite.

---

[1]) En prenant des corps très-moux semblables au pain, la comprimation s'étend au délà des limites de l'angle β, mais, néanmoins, les signes de l'angle d'action β sont très-marqués, parceque la plus grande comprimation des parties, se passe toujours dans l'intérieure de cet angle.

Les valeurs numériques de l'angle d'activité β.

Le résultat de mesures munitieuses, que nous avons faites prouve, que le changement dans la grandeur des angles β en changeant l'épaisseur des copeaux n'est pas considérable, mais il le devient de beaucoup du moment que l'on varie l'angle de l'outil α. Le tableau ci-dessous renferme les résultats des expériences que nous avons obtenus.

1) Le plomb. L'épaisseur de la couche enlevée $e = 1/4''$ (6,25 mm.) jusqu'à $1/2''$ (12 1/2 mm.)						
$\angle \alpha$	45°	55°	65°	75°	90°	
$\angle \beta$	100°	90°	80°	70°	62°	
$\angle \alpha+\beta$	145°	145°	145°	145°	152°	
2) Le zinc. L'épaisseur de la couche eulevée $e = 1/4''$ (6,25 mm.) à $1/2''$ (12 1/2 mm.)						
α	45°	55°	65°	75°	90°	
β	100°	85°	85°	75°	60°	
$\alpha+\beta$	145°	140°	150°	150°	150°	
3) L'acier fondu, le fer, le bronze et la fonte de moulage dans les parties des machines. $e = 1/16''$ (1,562 mm.) à $1/4''$ (6,25 mm.)						
α	45°	55°	65°	75°	90°	Valeurs moyennes.
β	100°	90°	85°	75°	65°	
$\alpha+\beta$	145°	145°	150°	150°	155°	

De là provient cette remarquable propriété, que la somme des angles $\alpha+\beta$ pour tous les métaux examinés reste presque la même. Les limites extrêmes, $\alpha+\beta-140^0$ jusqu'à -155^0.

La formation des copeaux.

Ce que nous avons l'intention de dire présentement, n'est point le fruit de notre imagination, mais bien le résultat de nos propres observations.

La formation des copeaux extraits de métaux tenaces [1]) fig. 6.

Sous l'influence de la force F, la partie tranchante de l'outil s'enfonce progressivement, dans la masse du métal; lors de cette action l'angle β se trouve fortement marqué. [2]) Lorsque la surface enfoncée be_1 (ou b représente la lar-

[1]) Tels que: le fer, l'acier, le bronze, la fonte de moulage, dans les parties des machines.

[2]) Sur la surface de la couche enlevée dans les limites de l'angle β, il arrive que le métal se gonfle en partie et cela d'autant plus que l'angle α devient plus grand.

geur de la couche enlevée) atteint le maximum de sa grandeur, commence le cisaillement du métal dans la direction *zu* dans le plan *bl*. Par ce procédé on obtient le premier élément du copeau (1) fig. 6 (*b*). L'élément (2) se forme d'une manière toute semblable, et ainsi de suite. De sorte que le copeau enlevé présente l'aspect d'une *scie courbee* (fig. 7), dentelée à la surface intérieure et unie à l'extérieure. Plus on augmente l'épaisseur de la couche enlevée et agrandit l'angle coupant (α), plus le cisaillement dans les plans *bl* atteint de perfection et la structure des copeaux devient nette et marquée. Lorsque l'angle (α) est très-grand, la liaison entre les éléments devient si minime, qu'il se détachent *un à un* en forme de petits corps parallélopipèdes avec section transversale trapezoïde (fig. 8) [1]). Au contraire en diminuant *e* et α, le cisaillement dans les plans

[1]) Les éléments des copeaux, présentent des parties du métal entièrement conservées, et quant aux métaux malléable (ductils) chaque élément peut être à l'aide d'un marteau applati en plaque d'une grande finesse.

bl se passe d'une manière moins parfaite et on obtient des copeaux d'une structure plus ou moins *compacte*. Leur surface extérieure convexe est toujours unie tandis-que la surface intérieure concave est d'entelée, mais dans les copeaux fins, lorsque α est petit, les petites dents sont si fines, que la surface intérieure prend un aspect véritablement *veloûté*. Dans les copeaux de structure compacte, les plans de cisaillement *bl* quoique invisibles existent néanmoins. Ce qui se prouve aisément, vu qu'il est bien plus facile de casser un copeau qu'une lame métallique entière, qui serait de mêmes dimensions transversales. Ces plans *bl* d'une couleur matte dans la fracture sont d'une consistence entièrement compacte, c'est-à-dire qu'elles possèdent tous les signes caractéristiques des surfaces de cisaillement en général. Nous avons nommés les copeaux de cette espèce, formés par suite du cisaillement progressif des éléments, *copeaux de cisaillement*. Le signe caractéristique de ces copeaux consiste en ce: *que la longueur du*

copeau est de beaucoup moindre, que la longueur de la face parcourue par l'outil, c'est-à-dire que ces copeaux subissent la *réduction.* Le rapport de la longueur du copeau *Lo* rélativement à la face parcouru par l'outil *L* peut être appelé *coefficient de réduction (K).* Nous basant sur nos expériences nous obtenons pour *(K)* les valeurs moyennes suivantes:

Le métal examiné.	L'angle coupant. α	Valeurs moyennes. $K = \frac{L_o}{L}$
1) Le fer.	45^0	0,59 — 0,65
	75^0	0.45 — 0,48
2) L'acier au creuset mou.	45^0	0,65
	75^0	0,46
3) Bronze tenace.	45^0	0,70
	75^0	0,53 — 0,56
4) Le plomb ($e = {}^1/_4'' - {}^1/_2''$)	45^0	0,60
	90^0	0,45 [1])

[1]) Quand les copeaux sont fins cette valeur est de beaucoup moindre, elle diminue jusqu'à 0,35, parceque dans ces cas la grandeur du zone d'activité étant donnée, l'angle β devient plus grand, et par contre l'angle β_1 et le rapport $\frac{e_1}{e_0}$ diminuent.

Du reste le coefficient de la réduction peut être défini par le calcul.

Prenant pour base la fig. 7 nous aurons:

$K = \frac{L_0}{L} = \frac{n.e_1}{n.e_0} = \frac{e_1}{e_0}$, n représente le nombre des éléments du copeau donné; d'où suit que

$$K = \frac{e_1}{e_0} = \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta} = \frac{\sin (180^0 - \alpha - \beta)}{\sin \beta}$$

Admettant que dans la pratique les deux limites extrêmes sont: $\alpha = 45^0$ et 75^0 et $\alpha + \beta = 145^0 - 150^0$, nous aurons:

$$K = \frac{\sin 35^0}{\sin 100^0} = \frac{0{,}57}{0{,}98} = \text{à } 0{,}60.$$

et

$$K = \frac{\sin 30^0}{\sin 75^0} = \frac{0.50}{0{,}97} = 0{,}51.$$

En comparant ces chiffres aux résultats, des mesurages directs, nous pouvons conclure que *la reduction des coupeaux, dépend presque exlusivement du déplacement des éléments lors de l'enlèvement du copeau.* La comprimation se voit principalement dans l'élargissement du copeau, qui est en général peu considérable, et dans une certaine protubérance du métal à la surface. Les éléments des copeaux en forme de prismes sexagonnes, ainsi

que nous venons de le dire, ont dans leur section transversale, une forme de trapèze, qui en cas de grands angles (α) approchent du *triangle* et en cas de petits (α) du *parallélogramme* (fig. 9). Ainsi, les éléments *sexagonnes* quand α environs 90° changent en prismes *pentagones*. Dans la majorités des cas $\angle\ \alpha$ — 45° à 75°; le rapport $\mu = \frac{l}{e_1} = 1\ ½$ à 2, c'est-à-dire est assez constant (fig. 8).

$$\sin\ [180^0 - (\alpha + \beta)] = \sin\ \beta_1 = \frac{e}{l}$$

conséquemment: $e_1 = \frac{l}{\mu} = \frac{e}{\mu \sin \beta_1}$.

Il s'en suit que: e_1 : : *e, c'est-à-dire que la grosseur des élements:: à l'épaisseur de la couche enlevée e ou a l'epaisseur du copeau l.*

La formation des copeaux extraits de métaux plus ou moins fragiles (fig. 10).

Lors du rabotage de métaux plus ou moins fragiles (du bronze dur, de la fonte, et du zinc), on remarque les phénomènes suivants: surtout si l'angle α est peu considérable. Au commencement

lors de l'enfoncement de l'outil, s'opèrent tous les phénomènes qui précédent le cisaillement des éléments, avec $\angle \beta$ très-marqué. Ensuite s'effectue, d'une façon toute inattendue, en même temps la rupture et la fracture du grand élément *A*. Les surfaces de la fracture et de la rupture ne sont pas unies et d'une consistence granulée, pleines de cavités, et d'enfoncements. Quelquefois le métal conserve une assez grande tenacité de sorte que les éléments étant liés entre eux à la surface, forment un véritable copeau (fig. 11). Mais les copeaux consistant en éléments de rupture et auxquels nous avons donné, les noms de *copeaux de rupture,* diffèrent essentiellement par leur aspect et leur consistence des copeaux de *cisaillement.* Leur surface intérieure (concave), est unie tandisque l'extérieure (convexe) ne l'est pas.

En enlevant de pareils copeaux *K— 1,* conséquemment ils ne subissent point de réduction.

Ce qui fait, que l'action de couper (le rabotage) parait principalement sous forme double.

1) *En forme de cisaillement progressif* et 2) *en forme de rupture progressive des éléments* [1]).

Il arrive des cas où le même copeau renferme des éléments de cisaillement et d'autres de rupture. Il faut attribuer cet étrange phénomène à l'inomogénéité de la consistence du métal. Nous n'avons remarqué ce phénomène qu'en travaillant le bronze.

Au rabotage du bois dans le plan perpendiculaire aux filaments, on obtient *des copeaux de cisaillement* qui ne produisent point de réduction, mais qui au contraire, ont une plus grande longueur, parcequ'alors $\alpha + \beta$ et β_1 ne varient pas de 90°, et $\beta < 90°$, et par conséquent : $K > 1$ (fig. 12).

En rabotant le bois de long en large des filaments, on obtient *des copeaux de rupture* (fig. 13 et 14). Les copeaux (fig. 14) par leur aspect ressemblent beaucoup aux copeaux provenant de métaux plus ou moins fragiles.

[1]) Notre manière de diviser les copeaux en deux classes a été adoptée par l'academicien connu M-eur *Gadoline* lors de ses leçons à l'Institut Technologique de St.-Pétersbourg.

Dépense du travail lors du rabotage de métaux tenaces (fig. 15).

Le rapport entre la force cisaillante P et la pression de l'outil F, a part le frottement, peut s'exprimer aproximativement par l'équation suivante:

$$Fx - Py;\ F - \frac{Py}{x} - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} P.$$

Ensuite $P - b.\ l.\ R$, où R — coefficient de la force de résistance au cisaillement du métal; b la langeur du copeau; $b\ l$ — surface de cisaillement. Nous savons déjà, que $\sin \beta_1 - \frac{e}{l}$; $l - \frac{e}{\sin \beta_1}$ $\beta_1 - 180^0 - (\alpha + \beta)$. Finalement nous obtenons

$$F - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta_1 \sin \beta} be\ R.$$

Il est certain, que $\angle \alpha - 45^0 - 55^0 - 65^0 - 75^0 - 90^0$

$\beta - 100^0 - 90^0 - 85^0 - 75^0 - 65^0$

$\alpha + \beta - 145^0 - 145^0 - 150^0 - 150^0 - 155^0$

$\beta_1 - 35^0 - 35^0 - 30^0 - 30^0 - 25^0$

En soumettant ces valeurs à une dernière formule nous obtenons:

quand $\alpha - 45^0 - 55^0 - 65^0 - 75^0 - 90^0$

$F - 1{,}26\ beR - 1{,}44\ beR - 1{,}82\ beR - 2\ beR - 2{,}63\ beR$

C'est-à-dire que la résistence se manifestant pendant le rabotage dans ces cinq cas est proportionelle à la série qui suit: 1 — 1,14 — 1,44 — 1,58 — 2,09. En nous basant sur nos expériences nous aurons la table suivante:

L'angle coupant de l'outil α	La pression de l'outil F [1]) valeurs moyennes.				
	L'acier fondue (au creuset)	Le fer.	La fonte de moulage.	Le bronze tenace.	Le bronze dure.
45°	—	4500	2200	2400	2000
55°	8650	5100	3200	3200	2300
65°	10000	6500	3400	3900	3200
75°	12000	7000	4200	4100	3500
90°	—	8500	4500	5500	4000

Il faut remarquer que ces chiffres renferment aussi ceux de la force de résistence d'une grande machine à raboter, dont nous nous sommes servis

[1]) Les chiffres du présent tableau désignent proprement dit la pression en pouds, sur un pouce carré de la section de la couche enlevée; mais comme un poud — 16,35 kilogr. et 1 □ ctm. — $(0{,}394)^2$ — 0,1552 pouces carrés, on n'a qu'à multiplier ces chiffres par 16,35, 0,1552 — 2,54, pour avoir la pression en *kilogrammes par* □ *ctm.* de la section de la couche enlevée.

pendant nos expériences. La pression *véritable* de l'outil est environ — *0, 6 F.* Le travail du rabotage exprimé en kilogrammomètres : $N_{max.}$ — 1,524 *F. be v,* où v^m se trouve être le chemin parcouru par l'outil en une seconde, en mètres; *b* et *e* expriment en centimètres la largeur et l'épaisseur de la couche enlevée.

Lois générales de la construction des copeaux.

1) *Le fer.* En prenant des angles coupants α — 35° à 45° on obtient des copeaux d'une consistence *compacte.* Leur surface extérieure convexe, est unie — celle de l'intérieure concave et couverte de petits traits disposés perpendiculairement à la longueur du copeau. Il est bien plus facile de casser d'un coup de marteau un pareil copeau que tout une lame de fer de la même section transversale. La fracture est unie, d'une couleur argentée matte, ce qui prouve clairement

que la rupture se fait dans la direction de plans de cisaillement qui quoiqu'invisibles à l'extérieur existent néanmoins (fig. 16, 17 et 18). Ce n'est que dans quelques exemplaires fort rares qu'on remarque au cas $\alpha - 45°$, une structure legèrement articulée, aux faces latérales (fig. 19).

En extrayant des copeaux fins, lorsque $\angle\alpha - 55°$, nous remarquons une très faible différence comparativement aux échantillons précédants.

En prenant de gros copeaux, lorsque $\angle\alpha - 55°$, la structure articulée devient très marquée. Les éléments de cisaillement, ont une forme géométrique très-nette et très reguliere (fig. 20). Une petite différence dans la forme et dans les dimensions des éléments dépend évidemment de l'hétérogénéité de la consistence du métal travaillé.

Lorsque $\alpha - 65°$ à $90°$, la structure articulée des copeaux à commencer par les plus fins jusqu'aux plus gros est très-marquée. Plus on augmente α plus la forme de la section transversale des éléments devient *triangulaire* (fig. 23), à la

fin elle change complètement en triangle, lorsque $\alpha = 90°$ (fig. 24). Les éléments de pareils copeaux représentent de toutes petites prismes triangulaires. L'échantillon du copeau (fig. 21), prouve en outre très clairement la conformité des éléments avec l'épaisseur du copeau. Il a été produit de la manière suivante: il a fallu commencer d'abord par enlever un copeau fin, ensuite l'outil a été retiré et en lui donnant un nouvel essor, on a augmenté l'épaisseur du copeau.

La fig. 22 représente les trois premiers éléments d'un très-gros copeau en fer coupé par l'outil à $\alpha = 65°$.

Remarques. Les fig. 16 jusqu'à 38 nous donnent des copies de grandeur naturelle, des plus remarquables exemplaires de notre collection. Nous nous sommes abstenus d'augmenter le nombre des dessins afin d'éviter de nous répéter. Les petites flèches désignent dans toutes les figures la direction du mouvement de l'outil. En enlevant de très-gros copeaux, l'outil par suite d'évent inevi-

tables, dans les parties de la machine à raboter, paraissait vouloir s'enfoncer petit à petit, de sorte que certains copeaux ont été produits d'épaisseur inégale dans leur longueur; par exemple ceux des fig. 17, 23, 27 etc.

2) *Acier fondu* (au creuset). La structure articulée se fait remarquer très-nettement dans toute espèce de copeaux les plus fins comme les plus gros, lorsque α — 45 et à 90°. Les outils d'angle α — 35° sont peu durables. Les éléments surprennent ordinairement par leur extrême précision, on pourrait dire que leurs contours sont d'une régularité toute mathématique (fig. 25 et 26). Le premier élément de chaque copeau a une forme presque triangulaire, comme cela arrive généralement dans tous les copeaux de cisaillement (fig. 7).

3) *Le bronze mou* (tenace). Lorsque α — 35° — 45°, les copeaux sont d'une consistence compacte semblables au fig. 16 — 18. Dans plusieurs exemplaires, lorsque α — 45°, on peut distinguer par

places, des éléments de cissaillement (fig. 27). L'élément *a* est remarquable par sa précision particulière.

Par erreur les autres éléments sont marqués plus nettement qu'il ne le sont en réalité.

A commencer par les copeaux les plus fins jusqu'aux plus gros, ils ont tous une consistence articulée très-marquée, lorsqué α — 55° à 90°. Lorsque α — 55° à 65 les éléments ont une section transversale *trapezoïde* (fig. 28). A droite sont représentés deux éléments d'un gros copeau. Aux angles α — 75°—90°, les éléments dans leur section transversale ont une forme presque *triangulaire* fig. 29. A droite sont représenté trois éléments d'un gros copeau. Les facettes de droite des prismes, qui présentent les plans de cisaillement sont toutes droites et d'une couleur d'or mat. Celles de gauche qui correspondent à la surface de la couche enlevée sont protubérentes et plus ou moins ridées, par suite du gonflement du métal sous la pression de l'outil.

4) *Le bronze dur* (fragile.) Lorsque $\alpha - 35°$ *à* $55°$, et que l'épaisseur de la couche enlevée est assez grande, ou moyenne, au lieu de copeaux on obtient des éléments *de rupture* qui se détachent un à un. La fig. 30 représente un élément *de rupture* d'un gros copeau. Sa surface inférieure n'est pas unie et d'une consistence granulée. La bordure unie qui se trouve sur la face droite provient de la pression de l'outil avant le moment du rupture. Si les copeaux sont fins et α petit, on obtient de véritables copeaux *de rupture* fig. 32. Ces copeaux évidemment ne produisent point de réduction. Leur surface supérieure concave est unie; elle conserve même de petits sillons longitudinaux, trâces de l'outil, à l'aide duquel a été travaillé avant l'expérience le morceau de métal donné. La surface inférieure au contraire n'est pas unie et toute couverte de sillons transversaux, qui séparent les éléments les uns des autres.

Lorsque $\alpha - 55°$ *à* $65°$ et que les copeaux sont gros on n'obtient exclusivement que des éléments

de *rupture*. Dans les copeaux fins on obtient à la fois des éléments de *rupture* et de *cisaillement*, ce qui doit être attribué à l'inomogénéité de la consistence du métal. Dans les copeaux fins, lorsque $\alpha = 65°$ les *éléments de cisaillement* sont prédominants.

Lorsque l'angle $\alpha = 75$ *à* $90°$, les conditions sont plus favorables à la formation des éléments de cisaillement, ce qui fait qu'on obtient dans ces cas là, presqu'exclusivement des éléments à la section transversale triangulaire (fig. 31) et ce n'est qu'avec une grande épaisseur de copeaux qu'il arrive par hasard, de rencontrer des éléments de *rupture*.

Remarque. Selon la manière de la formation, les copeaux de cisaillement donnent une surface travaillée, unie, tandis-que celle du copeau de rupture est toujours inégale. Cela peut nous expliquer ce phénomène, que la surface des objets en bronze ou en fonte grossièrement travaillés par l'outil, ayant $\alpha = 45° - 55°$, sont d'un aspect rude et spongieux, tandis-qu'après le travail définitif de l'outil sous un

angle coupant plus grand α — 75° *à* 90°, elle devient unie et prend un bel aspect. Evidemment il faut en chercher la cause dans la formation des éléments de cisaillement sous un α plus grand.

5) *La fonte de moulage,* ressemble beaucoup au bronze dur.

Lorsque α — 35°—65° on obtient exclusivement des éléments de *rupture,* et lorsque α — 75°—90° et que les copeaux sont fins, des éléments de *cisaillement.* Plus la fonte est molle, plus les conditions deviennent favorables à la formation des copeaux de cisaillement (fig. 33). Les éléments sont souvent très-distincts, ce ne sont que les contours, qui sont moins reguliers que ceux des autres métaux.

6) *Le zinc.* Lorsque α — 35° et en coupant des couches fines, on obtient des copeaux, quoique de formation compacte, mais néanmoins des copeaux de rupture, fig. 34. Leur surfaces convexe et concave sont unies. La surface concave n'a point de sillons transversaux, qui caractérisent les copeaux de cisaillement. Lors de l'enlèvement de gros copeaux,

les éléments de rupture se détachent un à un. La fig. 35 représente le plus grand élément de rupture, obtenu dans nos expériences. De vue il ressemble beaucoup à la fig. 30. Sa surface inférieure n'est pas unie d'une consistence granulée.

Lorsque α — 45°—55° et qu'on enlève des couches épaisses, on obtient des éléments de rupture, si au contraire on en enlève que de fines, on obtient des copeaux d'une consistence compacte, et d'après leur forme extérieure, on peut conclure qu'il proviennent de la rupture progressive des éléments. Ces copeaux se distinguent par leur surface concave, toute unie, et par l'absence complète de dentelure à cette surface.

Lorsque α — 55°, et qu'il y a des couches fines, on remarque quelquefois des copeaux de cisaillement.

Lorsque α — 65° à 90°, les copeaux de cisaillement sont d'une structure très marquée.

Lorsque α — 90°, les éléments sont semblales à des prismes *triangulaires*.

Voici, (fig. 36), les trois éléments du plus grand copeau de cisaillement (du zinc) obtenu dans nos expériences. Les facettes des prismes du côté gauche, correspondant aux surfaces de cisaillement sont droites, et d'une couleur argentée matte. Celles de droites sont bombées par la même raison que celle de la fig. 29 (à droite).

7) *Le plomb.* Vu la mollesse du plomb, lorsque $\alpha = 35° - 90°$, et quelque soient les épaisseurs, on obtient des copeaux d'une consistence entièrement compacte, qui ne présentent par eux-mêmes que fort peu d'instructif [1]). La fig. 37 représente le plus grand copeau de plomb, obtenu dans nos expériences, lorsque $\alpha = 75°$.

---

[1]) Si l'on trace sur un morceau de plomb de lignes droites, lors de l'enlèvement du copeau on les verra changer en lignes courbes, qui pourront sans aucun doute désigner clairement la direction, que prennent les parties en se déplaçant sous la pression de l'outil. C'est à notre grand regret, que l'occasion de faire de semblables épreuves nous a manquée.

L'action de couper les métaux à l'aide de cisailles.

En soumettant une barre de fer, ou de quelque autre métal de propriété semblables à la pression des cisailles de force F non égale, nous obtiendrons une suite d'empreintes, dont la surface est proportionnée à la grandeur de la force agissante F. Enfin à une certaine pression maximum F, la surface $b\,e_1$ (ou b représente la largeur de la barre), atteint sa plus grande dimension, alors se produit le cisaillement momentané de la barre, dans le plan $b\,l$ (fig. 41).

Le fer donne une surface de cisaillement $b\,l$ d'une consistence compacte de couleur argentée matte. De brillantes bordures unies au-dessus et au-dessous de la section transversale se conforment aux concavités produites par la pression de l'outil. Le rapport $\varphi = l : e_1 = 1^1/_2$ à 2. Plus on approche en coupant du bout de la barre, plus les morceaux coupés deviennent courts. En avançant la barre jusqu'à la grandeur $e_1 - \frac{l}{\varphi}$, (fig. 40) il s'opérera

en dernier lieu le détachement du grand élément A en forme de prisme régulière. Si l'on avance plus loin encore la barre sous les cisailles à une grandeur moindre $\frac{l}{\varphi}$, il se produira le détachement, non de l'élément A, mais de deux ou trois autres éléments ce qui dépend de la grandeur e_1, et en même temps, la force de la résistance à l'action de couper, s'affaiblira petit à petit. Enfin à une couche fine il se produit un véritable enlèvement de copeaux de *cisaillement,* à éléments de section triangulaires fig. 39, parceque les cisailles ont un $\angle \alpha$ toujours de plus de 75°. La fig. 38 représente 8 éléments de cisaillement disposés en un rang et de grandeur naturelle. On a obtenu de pareils éléments, par groupes de plusieures pièces et par pièces isolées, dans les forges de M^eur^ *Poutiloff* à St.-Pétersbourg, en coupant à froid les bouts de rails en fer au moyen de cisailles. Les éléments consistent en prismes de forme assez irrégulière avec section transversale triangulaires. Les facettes de derrière qui ne se voient pas sur le dessin, et qui correspondent aux plans

de cisaillement sont droites. Les facettes de devant (celles de côté droit) gonflées et ridées sont obtenues à ce que l'on sait, par suite de la compression du métal sous l'action de l'outil, avant le cisaillement de chaque élément.

Prenant pour base tout ce qui a été dit ci-dessus, nous tirons l'importante conclusion qui suit: *que l'action des cisailles est en tout pareilles à l'action de toutes les autres machines-outils en général et que l'action de couper, le cisaillement des barres en deux parties, est en tout conforme au phénomène du cisaillement des éléments lors de l'enlèvement des copeaux.* Par suite du cisaillement dans la direction la plus courte, l'angle de cisaillement β, en séparant les barres en deux parties, est toujours $= 180^\circ - \alpha$ ou de 100° à 105°, lorsque $\alpha = 75^\circ - 80^\circ$.

Remarque générale sur les copeaux de cisaillement.

Il a été mentionné ci-dessus que selon la grandeur de l'angle coupant de l'outil α, on obtient des éléments de cisaillement en forme de prismes *sexagones* ou *pentagones*. Les facettes des prismes ont un aspect tout différent. Les éléments sexagonnes ont les deux facettes correspondant aux plans de cisaillement (fig. 8) unies et d'une couleur matte. La facette inférieure formée sous l'influence de la comprimation et du frottement de la partie tranchante de l'outil, est unie brillante, comme si elle venait d'être polie. Les trois autres facettes, celles des deux bouts, et la facette supérieure, sont plus ou moins bombées et ridées, par suite du gonflement du métal, qui se produit dans les limites de l'angle β jusqu'au moment du cisaillement des éléments. En obtenant des éléments pentagones nous avons cette différence, qu'au lieu de deux facettes il n'y en a qu'une

seule qui corresponde au plans de cisaillement. Plus la resistance absolue du métal est grande, plus les éléments des copeaux, en subissant moins de changements, prennent une forme régulière. De sorte qu'au rabotage de l'acier fondu, les éléments obtenus, présentent des prismes d'une régularité presque mathématique.

Fig. 4.

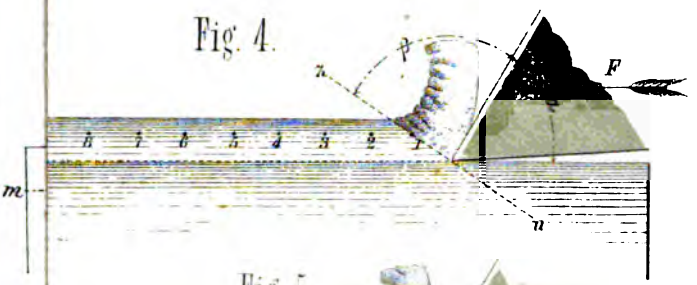


Fig. 5.

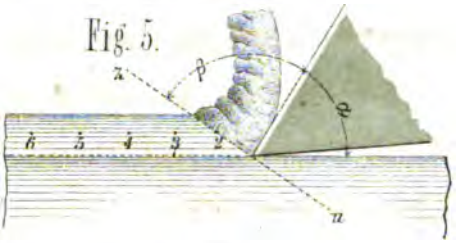
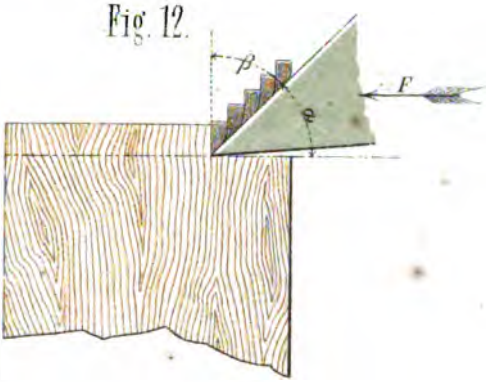


Fig. 12.



ig. 13.

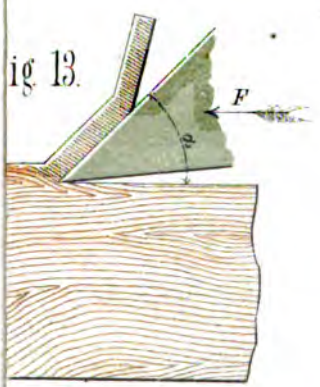
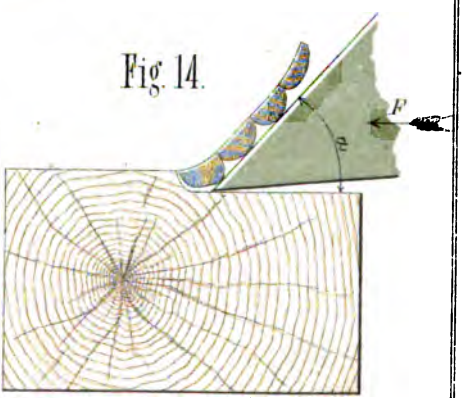


Fig. 14.



Lith. v. Aug. Allmann, Kramerstr. No 1143

Fig. 33.

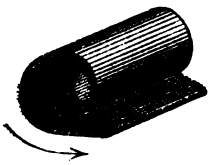


Fig. 34.

Fig. 35.

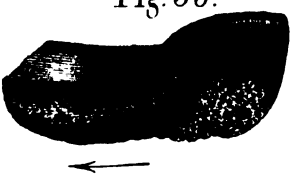


Fig. 36.

Fig. 37.

Imp. de Ad. Jullien, Paris.

Univ. of Calif.
1/22/48

Eng 1278.77
Memoire sur le rabotage des metau
Cabot Science
006747319
3 2044 091 997 221